

Sistem Pemantauan Kinerja Serta Pengaturan Mesin *Packing* Secara Otomatis Pada Pabrik Wafer Dengan *Zigbee*

Kristofer Ferry Julianto¹, Indra Surjati² dan Suraidi¹

Abstract: This design creates a system which serves to monitor and manage the performance of packaging machine operations at the wafer factories automatically by using *zigbee* as a data communication medium. Monitoring is conducted through a computer screen that displays a representation of the machine being monitored. Monitoring includes the quantity of products that produced and the state of the production machines. Managing includes troubles handling when problems occur at the time of production takes, such as downtime in one of packaging machines in order to achieve production targets. This design represents the machine during operation (ON) and does not operate (OFF), maintain a stable temperature of the heater reorganizing production processes in case of downtime on one machine. Based on the test results, this system provides a successful according to the purpose of this design.

Keywords: monitoring, managing, *ZigBee*, computer.

Abstrak: Pada perancangan ini dirancang sebuah sistem yang berfungsi untuk mengawasi kinerja dan mengatur operasi mesin *packaging* pada pabrik wafer secara otomatis dengan menggunakan *zigbee* sebagai media komunikasi data. Pemantauan dilakukan melalui layar komputer yang menampilkan representasi dari mesin yang dipantau. Pemantauan meliputi kuantitas produk yang dihasilkan dan keadaan mesin produksi. Pengaturan meliputi penanganan masalah ketika terjadi masalah pada saat produksi berlangsung, seperti downtime pada salah satu mesin *packaging* supaya target produksi tercapai. Rancangan ini menampilkan keadaan mesin saat beroperasi (ON) dan saat tidak beroperasi (OFF), menjaga kestabilan suhu heater, pengaturan ulang proses produksi secara otomatis apabila terjadi downtime pada salah satu mesin. Berdasarkan hasil pengujian, rancangan ini berhasil sesuai dengan tujuan perancangan ini.

Kata kunci: pemantauan, pengaturan, *zigbee*, komputer.

PENDAHULUAN

Wafer adalah jenis biskuit yang dibuat dari adonan cair, berpori-pori kasar, renyah dan bila dipatahkan penampang potongannya berongga-rongga. Wafer termasuk dalam kategori biskuit. Adapun produk makanan ini sangat sensitif terhadap keadaan lingkungan. Apabila bungkusnya dibiarkan terbuka sedikit, maka produk ini akan rusak. Proses pembungkusan wafer pada pabrik wafer menjadi sangat krusial, mengingat pada tahap ini merupakan tahap penyelesaian dari sebuah proses produksi. Apabila pada tahap ini terjadi kecacatan dalam pembungkusan, maka wafer yang dihasilkan pasti tidak akan bertahan lama. Pada tahapan ini, wafer akan dimasukkan ke dalam sebuah mesin *packaging*. Wafer yang masuk ke dalam mesin ini akan dibungkus dengan plastik, yang kemudian akan disegel dengan menggunakan sebuah *heater* yang terdapat pada mesin *packaging*.

Suhu *heater* yang terlalu tinggi pada mesin *packaging* dapat menyebabkan kerusakan pada bungkus dari wafer. Hal ini dapat menyebabkan wafer tersebut rusak. Adapun suhu *heater* pada mesin *packaging* pada keadaan normal adalah sekitar 150°C dengan batas toleransi maksimum sebesar 200°C. Akibat lain yang ditimbulkan dari permasalahan di atas adalah target produksi yang tidak tercapai, yang dapat menyebabkan kerugian pada perusahaan.

Pada penelitian ini akan dibahas perancangan dan realisasi prototype sebuah mesin *packaging* yang akan diterapkan pada pabrik biskuit jenis wafer. Rancangan ini berbasis system telemetri dengan menggunakan *zigbee* sebagai *transceiver*. Teknologi *zigbee* memiliki standar IEEE 802.15.4 yang merupakan keluarga dari *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Teknologi ini merupakan teknologi dengan data rate rendah (*Low Data Rate*), biaya murah (*Low Cost*), protokol jaringan tanpa kabel yang ditujukan untuk otomatisasi dan aplikasi *remote control*. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa *zigbee* ditujukan untuk melayani industri. Perbedaan *zigbee* dengan *Bluetooth* yang juga merupakan anggota dari IEEE 802.15 dapat dilihat pada Tabel 1.

■ Tabel 1. Perbandingan antara *Zigbee* dengan *Bluetooth* [1].

No	Perbandingan	<i>Bluetooth</i> terbaik untuk	<i>Zigbee</i> terbaik untuk
1	Jaringan	<i>Ad-hoc</i>	Statis (tetap)
2	Peralatan	<i>Hands-free</i> audio	Peralatan yang jarang digunakan
3	Jenis data	<i>Screen graphic</i> , gambar	Data dengan <i>data rate</i> kecil
4	Kapasitas data	<i>Transfer File</i>	Paket data yang kecil
5	Teknik modulasi	FHSS	DSSS

Keunggulan utama dari *zigbee* adalah berdaya rendah (*low power*) sehingga dapat disuplai dengan baterai. Kemampuan *zigbee* dalam melakukan, mengirim, pengecekan dan mematikan data hanya dalam waktu kurang dari 30 ms. Ini akan membuat baterai menjadi tahan lama. Jika sebuah titik disusun untuk penggunaan *frame beacon* saja maka waktu *on-air* bisa ditekan hingga 3 ms. Hal ini bisa dicapai dengan hanya sebuah IC

¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Tarumanagara Jakarta

² Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti Jakarta

transceiver dengan fungsi PHY dan MAC serta pekerjaan ringan yang cukup dijalankan dengan mikrokontroler 8 bit. Keperluan memori *flash zigbee* berkisar antara 16 KB hingga 60 KB.

Pelaksanaan survei dilakukan dengan cara survei lapangan, yaitu dengan peninjauan langsung. Survei dilakukan dengan melakukan peninjauan langsung di dua tempat yaitu pada PT X dan Y. Hasil survei ini, ada beberapa hal yang menjadi fokus yaitu: pengaturan operasi mesin ketika terjadi kegagalan pada salah satu mesin produksi, penghitungan hasil produksi, pengawasan lapangan dan laporan hasil produksi.

Sistem yang dirancang adalah sebuah sistem pemantauan kinerja dan pengaturan operasi mesin *packaging* secara otomatis dengan menggunakan *zigbee* sebagai media komunikasi data, untuk mengontrol kinerja dari beberapa mesin sekaligus. Sistem ini memiliki fungsi pemantauan dan pengaturan. Pemantauan meliputi kuantitas produk yang dihasilkan dan keadaan mesin produksi. Pengaturan meliputi *Troubleshooting* ketika terjadi masalah pada proses produksi, seperti *downtime* pada mesin. Apabila terjadi *downtime* pada salah satu mesin produksi, maka kuantitas produksi dari mesin yang lain harus ditingkatkan untuk mencapai target produksi yang telah ditetapkan. Target produksi yang akan dicapai di sini merupakan asumsi, dengan total target 500 buah produk.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem ini terdiri dari dua fungsi utama, yaitu fungsi pemantauan dan fungsi pengendalian. Kedua fungsi ini terintegrasi dalam sebuah rancangan, dan dikendalikan oleh sebuah *server (PC)*. Fungsi yang pertama dari sistem ini adalah fungsi pemantauan. Fungsi ini didukung oleh modul-modul seperti sensor, *relay* dan mikrokontroler. Sensor digunakan untuk mendeteksi suhu dari mesin dan jumlah produksi. Sedangkan *relay* digunakan untuk memantau keadaan mesin pada saat proses produksi berlangsung seperti keadaan saat mesin mati, *standby* dan keadaan mesin saat beroperasi. Sedangkan mikrokontroler berfungsi untuk mengkoordinasi kerja dari komponen sensor dan *relay*.

Fungsi kedua dari sistem ini adalah fungsi pengaturan otomatis. Fungsi ini akan aktif setelah PC mendapat data dari hasil pemantauan. Ketika PC mendapat laporan dari sensor suhu yang terdapat pada mesin, yang menyatakan bahwa suhu dari salah satu mesin produksi dalam keadaan di atas suhu rekomendasi, maka PC secara otomatis memberikan instruksi ini kepada mikrokontroler untuk mematikan mesin tersebut. Mesin yang dimatikan tersebut dinyalakan kembali apabila suhunya telah turun sampai pada keadaan normal. Selama mesin tersebut dimatikan sampai dihidupkan kembali, PC akan terus memantau mesin melalui *relay*.

Selama mesin tersebut dimatikan, PC memberikan instruksi kepada mesin yang lainnya untuk meningkatkan kecepatan produksinya. Tujuan dari instruksi ini adalah untuk mempertahankan kuantitas dari produksi, supaya target produksi tercapai. Instruksi inilah yang merupakan fungsi dari pengendalian otomatis.

Pada perancangan digunakan tiga buah motor DC, sebagai pengganti mesin untuk memperagakan kerja dari sistem yang akan dirancang ini. Cara kerjanya adalah sebagai berikut: ketika salah satu mesin dari ketiga mesin itu terjadi *downtime*, maka kecepatan produksi kedua mesin lainnya harus ditingkatkan. Setelah mesin yang *downtime* tadi kembali beroperasi, maka kecepatan mesin tersebut juga ditingkatkan menjadi sama dengan kedua mesin lainnya, sampai ketertinggalan target yang disebabkan oleh mesin yang terjadi *downtime* terkejar, setelah itu kecepatan produksi akan dikembalikan ke tingkat kecepatan semula.

Untuk transmisi data antara PC dan komponen-komponen yang mengatur mesin digunakan media *wireless*. Dikarenakan data yang dikirim bukanlah data dalam kapasitas yang besar, maka media transmisi yang digunakan pun juga cukup dengan menggunakan media yang memiliki *datarate* yang kecil.

Diagram Blok

Diagram blok dari rancangan dapat dilihat pada Gambar 1.

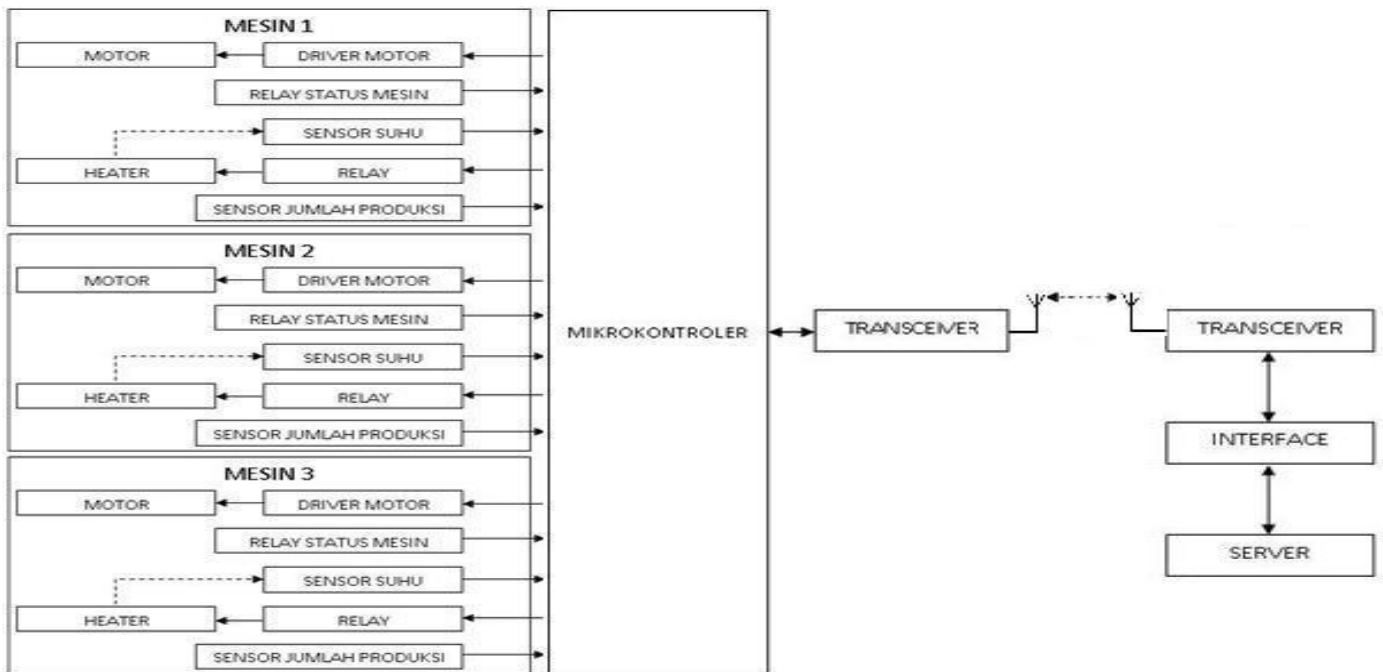
Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Biasanya mikrokontroler berupa sebuah *chip*. Seperti umumnya komputer, mikrokontroler adalah alat yang mengerjakan instruksi-instruksi yang diberikan kepadanya. Artinya, bagian terpenting dan utama dari suatu sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri yang dibuat oleh seorang *programmer*. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalinan yang panjang dari aksi-aksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh *programmer*.

Fitur-fitur yang terkandung dalam sebuah mikrokontroler sebagai berikut:

- *Central Processing Unit (CPU)*
- *Input/Output (I/O)* antarmuka jaringan
- Antarmuka komunikasi serial
- *Periferal*
- RAM

- ROM, EPROM, EEPROM
- Pembangkit Clock
- Analog to Digital Converter



■ Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Berdasarkan arsitekturnya, mikrokontroler dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) adalah mikrokontroler dengan instruksi terbatas tapi memiliki fasilitas yang lebih banyak.
- *Complex Instruction Set Computer* (CISC) adalah mikrokontroler instruksi yang lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya.

Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega16. Mikrokontroler ini diproduksi oleh ATMEL. ATmega16 dipilih sebagai mikrokontroler karena memiliki media penyimpanan data internal berupa EEPROM sebesar 512 Byte yang akan digunakan sebagai media penyimpanan data. Selain itu ATmega16 memiliki saluran I/O sebanyak 32 buah yang dapat diprogram dan digunakan sebagai media keluar masuknya data dari modul-modul lainnya. ATmega16 juga memiliki *port* USART yang digunakan dalam komunikasi serial.

Interface Universal Serial Bus

Universal Serial Bus (USB) adalah standar bus serial untuk perangkat penghubung. Sistem USB mempunyai desain yang asimetris, yang terdiri dari pengontrol *host* dan beberapa peralatan terhubung yang berbentuk pohon dengan menggunakan peralatan *hub* yang khusus. Desain USB ditujukan untuk menghilangkan perlunya penambahan *expansion card* ke bus PCI, dan memperbaiki kemampuan *plug-and-play* (pasang-dan-mainkan) dengan memperbolehkan peralatan-peralatan ditukar atau ditambah ke sistem tanpa perlu mereboot komputer. Ketika dipasang, USB langsung dikenal sistem komputer dan memproses *device driver* yang diperlukan untuk menjalankannya. Kecepatan *transfer* data yang dimiliki USB adalah sebesar 40 Mbps. Keunggulan USB adalah sebagai berikut:

- Pengoperasiannya mudah
- Tahan terhadap derau dan distorsi
- Bersifat *Plug & Play*
- Transfer data lebih cepat daripada port paralel maupun serial.

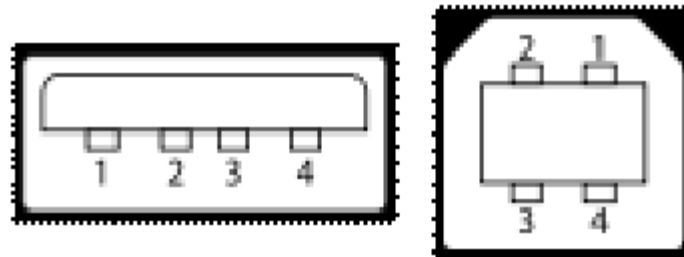
Gambar konfigurasi pin USB dapat dilihat pada Gambar 2.

Keterangan dari konfigurasi pin USB adalah sebagai berikut: pin 1 merupakan port untuk catu daya, pin 2 dan pin 3 untuk membawa data, sedangkan port 4 berfungsi sebagai *ground*.

Relay

Relay merupakan *switch* yang dioperasikan secara elektronik. *Relay* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu:

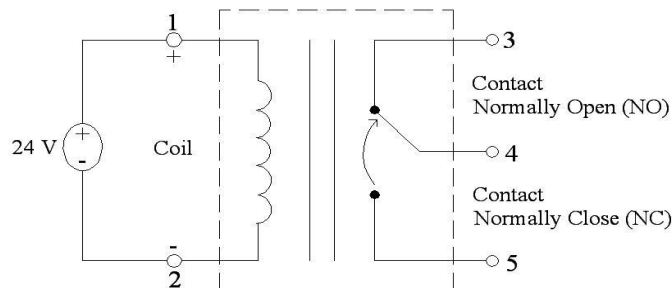
- Koil : lilitan dari *relay*
- Common : bagian yang tersambung dengan NC (dalam keadaan normal)
- Kontak : terdiri dari *Normally Close* (NC) dan *Normally Open* (NO)



■ Gambar 2. Konfigurasi Pin USB[3]

NC adalah saklar dari *relay* yang dalam keadaan normal (*relay* tidak diberi tegangan) terhubung dengan *common*. NO adalah saklar dari *relay* yang dalam keadaan normal (*relay* tidak diberi tegangan) tidak terhubung dengan *common*.

Prinsip dasar kerja *relay* menggunakan magnet elektrik yang dibangkitkan dari lilitan dengan inti besi. Magnet yang dibangkitkan tersebut menggerakkan sistem mekanikal *switch*. Apabila lilitan diberi arus, maka inti besi akan berubah menjadi magnet dan menggerakkan *switch*. Saat arus tidak diberikan, mekanikal *switch* kembali lagi ke posisi semula karena ada pegas yang menariknya. Rangkaian *relay* dapat dilihat pada Gambar 3.



■ Gambar 3. Rangkaian *Relay*[4]

Relay pada alat ini dipergunakan pada dua modul, yaitu modul *relay* status mesin, dan modul sensor suhu. Tujuan penggunaan *relay* adalah untuk memberikan data kepada mikrokontroler mengenai status dari subsistem sesuai dengan tujuan perancangan modul-modul tersebut. Adapun dalam perancangan ini, ada dua jenis *relay* yang digunakan berdasarkan tegangan *input*-nya, yaitu *relay* dengan *input* 12V dan *relay* dengan *input* 24V. *Relay* yang dipakai bersifat *Single Pole Double Throw* (SPDT).

Sensor Infra merah

Infra merah (*infrared*) adalah sinar elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang lebih panjang dari cahaya tampak yaitu di antara 700 nm dan 1 mm. Sinar infra merah merupakan cahaya yang tidak tampak. Jika dilihat dengan spektroskop cahaya maka radiasi cahaya infra merah akan nampak pada spektrum elektromagnetik dengan panjang gelombang di atas panjang gelombang cahaya merah. Dengan panjang gelombang ini maka cahaya infra merah ini akan tidak tampak oleh mata namun radiasi panas yang ditimbulkannya masih terdeteksi.

Karakteristik lain dari sinar infra merah adalah tidak dapat menembus benda. Karakteristik inilah yang kemudian menjadi dasar pemanfaatan infra merah sebagai sensor gerak.

Pemanfaatan infra merah sebagai sensor gerak menggunakan dua komponen dasar, yaitu: dioda infra merah dan fototransistor. Adapun prinsip kerja dari sensor ini adalah dioda infra merah akan memancarkan cahaya ke fototransistor, kemudian fototransistor ini mengubah sinar yang diterima menjadi sinyal listrik.

Fototransistor merupakan sensor penerima yang baik, karena memiliki kelebihan dalam mendeteksi sekaligus menguatkan dalam satu komponen tunggal. Fototransistor memiliki dua tipe yaitu tipe NPN dan tipe PNP. Perbedaan utama antara Fototransistor dengan transistor biasa terletak pada materi pembungkusnya. Fototransistor ditempatkan dalam sebuah material yang transparan sehingga cahaya dari infra merah dapat mengenai daerah basis, sedangkan transistor biasa ditempatkan pada bahan logam dan tertutup. Gambar fototransistor dapat dilihat pada Gambar 4.



■ Gambar 4. Fototransistor [5]

Dalam alat ini, sensor infra merah digunakan sebagai modul sensor jumlah produksi untuk menghitung kuantitas hasil produksi. Produk yang telah keluar dari mesin *heater* akan dilewatkan pada modul sensor jumlah produksi. Jika fototransistor tidak menerima sinar infra merah dari dioda infra merah, maka dapat dikatakan sensor telah mendeteksi adanya produk yang telah keluar dari mesin *heater*.

Komponen yang digunakan untuk menangkap pancaran sinar dari LED infra merah adalah fototransistor. Fototransistor ini digunakan karena fototransistor sangat peka dan sensitif terhadap cahaya, sehingga sangat baik untuk merespon cahaya yang dipancarkan oleh LED infra merah. Fototransistor ini akan diletakkan pada *output* dari mesin *packaging*, berhadapan dengan LED infra merah yang berfungsi mendeteksi ada atau tidaknya barang.

Pada alat ini *light emitting diode* (LED) infra merah digunakan sebagai salah satu komponen dalam rangkaian sensor infra merah. Sensor tersebut dipasang pada output dari mesin *packaging*. LED infra merah ini digunakan selain mudah didapat dipasaran juga dari segi harga sangat ekonomis. Karakteristik dioda infra merah ini adalah sebagai berikut: Arus *forward* (I_f) = 100 mA sedangkan panjang gelombang (λ) = 950 nm.

Sensor Suhu

Sensor suhu merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran panas menjadi besaran listrik untuk dianalisis besarnya. Salah satu metode untuk membuat komponen ini adalah dengan cara menggunakan material yang berubah hambatannya terhadap arus listrik sesuai dengan suhunya.

Thermocouple adalah salah satu sensor suhu yang sering dipakai dalam industri. Berasal dari kata “*Thermo*” yang berarti energi panas dan “*Couple*” yang berarti pertemuan dari dua buah benda. *Thermocouple* ini adalah sensor dan *transducer* aktif suhu yang banyak digunakan untuk pengukuran suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (mengubah perbedaan suhu menjadi tegangan) dan tersusun dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua logam dan titik yang lain sebagai *output*-nya.

Prinsip kerja *thermocouple* secara sederhana berupa dua buah kabel dari jenis logam yang berbeda ujungnya, hanya ujungnya saja disatukan (dilas). Titik penyatuan ini disebut *hot junction*. Prinsip kerjanya memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan (Volt) dengan temperatur. Setiap jenis logam, pada temperatur tertentu memiliki tegangan tertentu pula. Pada temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadilah perbedaan tegangan (kecil sekali, dalam satuan miliVolt) yang dapat dideteksi. Adanya perbedaan panas secara gradien akan menghasilkan tegangan listrik, hal ini disebut sebagai efek termoelektrik. Untuk mengukur perubahan panas ini gabungan dua macam konduktor sekaligus sering dipakai pada ujung benda panas yang diukur. Konduktor tambahan ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berkebalikan dengan perbedaan temperatur benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan kita melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 mV tiap derajat *celcius* untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam.

Kerapatan elektron untuk setiap bahan logam berbeda tergantung dari jenis logam. Jika dua batang logam disatukan salah satu ujungnya, dan kemudian dipanaskan, maka elektron dari batang logam yang memiliki kepadatan tinggi akan bergerak ke batang yang kepadatan elektronnya rendah, dengan demikian terjadilah perbedaan tegangan diantara ujung kedua batang logam yang tidak disatukan atau dipanaskan. Besarnya termolistrik atau GEM (gaya electromagnet) mengalir dari titik *hot-junction* ke *cold-junction* atau sebaliknya. Beda tegangan ini linear dengan perubahan arus, sehingga nilai arus ini bisa dikonversi kedalam bentuk tampilan *display*. Sebelum dikonversi, nilai arus di komparasi dengan nilai acuan dan nilai *offset* di bagian komparator, fungsinya untuk menerjemahkan setiap satuan ampere ke dalam satuan volt kemudian dijadikan besaran temperatur yang ditampilkan melalui layar atau monitor yang menunjukkan temperatur yang dideteksi oleh *thermocouple*. Gambar prinsip kerja dari *thermocouple* secara visual dapat dilihat pada Gambar 5.



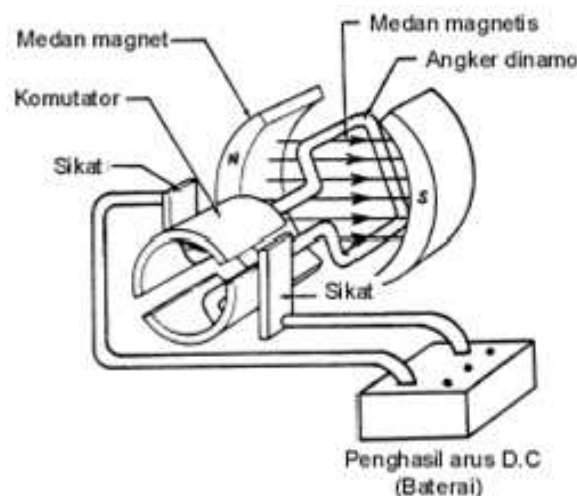
■ Gambar 5. Prinsip Kerja *Thermocouple* [6]

Pada alat ini, sensor suhu yang digunakan adalah *thermocouple* yang bertipe K. Pemilihan *thermocouple* tipe K sebagai sensor suhu pada perancangan ini dikarenakan kemampuan sensor ini yang dapat mengukur dari 0-1200°C. Pada perancangan ini, *thermocouple* akan digunakan untuk mengukur suhu sampai dengan 200°C.

Penguat *thermocouple* diperlukan untuk menguatkan tegangan yang berasal dari *thermocouple* dan menstabilkan tegangan yang dikeluarkan oleh *thermocouple*. IC penguat *thermocouple* bertipe AD595 dipilih karena dapat menerima tegangan yang berasal dari *thermocouple* yaitu 0 mV_{DC} (temperatur 0°C) sampai 24,9 mV_{DC} (temperatur 600°C). IC AD595 juga dipilih karena dapat menstabilkan tegangan sehingga dapat dijadikan *input* untuk ADC, dimana ADC ini membutuhkan tegangan yang stabil agar dapat membaca *thermocouple* secara tepat.

Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan dan lain-lain. Motor DC merupakan motor listrik yang memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Bagian-bagian dari motor DC dapat dilihat pada Gambar 6.



■ Gambar 6. Motor DC Sederhana [7]

Motor DC *gearbox* ini dipilih karena berguna untuk membagi kecepatan motor DC sehingga didapatkan torsi dan daya yang dihasilkan sudah cukup untuk melakukan fungsi motor dari alat dan harga yang lebih terjangkau. Motor ini membutuhkan tegangan 12V.

Driver Motor

Driver motor merupakan salah satu perangkat umum yang digunakan untuk kendali motor DC. *Driver* motor ini yang nantinya bertugas mengendalikan arah putaran maupun kecepatan motor DC yang akan dikendalikan. Driver motor ada yang berupa IC. Pada perancangan ini digunakan IC *driver* motor, untuk menggerakkan motor dan IC PWM *controller* untuk mengatur kecepatan dari putaran motor DC.

Pulse Width Modulation (PWM) adalah teknik modulasi yang sering digunakan sebagai metode untuk pengaturan kecepatan putaran motor DC. Konsep PWM pada *driver* motor DC adalah mengatur lebar sisi positif dan negatif pulsa kontrol pada frekuensi kerja yang tetap. Semakin lebar sisi pulsa positif maka semakin tinggi kecepatan putaran motor DC dan semakin lebar sisi pulsa negatif maka semakin rendah kecepatan putaran motor DC.

PWM bekerja dengan cara membuat gelombang persegi yang memiliki perbandingan pulsa *high* terhadap pulsa *low* yang telah tertentu, biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%. Gelombang persegi ini memiliki frekuensi tetap (maksimum 10 KHz). Perbandingan pulsa *high* terhadap *low* ini akan menentukan jumlah daya yang diberikan ke motor DC.

Dalam alat ini, motor yang digunakan adalah motor DC yang bekerja dengan tegangan 12 volt. Sedangkan sistem kontrol yang digunakan menggunakan tegangan 5 volt, sehingga dibutuhkan sebuah driver untuk mengaktifkan dan mengatur kecepatan putaran dari motor tersebut. Perancangan ini menggunakan IC ULN 2803 sebagai driver motor. IC ini dipilih driver motor, karena pada perancangan ini, putaran dari motor DC yang digunakan hanya bergerak satu arah saja.

Pembangkit PWM dibuat dengan menggunakan IC PWM 4004. IC PWM 4004 yang dirangkai sebagai *multivibrator* stabil dapat menghasilkan tegangan pulsa 5V. Tegangan pulsa 5V tersebut dapat diatur *duty cycle*-nya dari 50% sampai dengan 100%. *Duty cycle* yang diinginkan dapat dicapai dengan mengatur nilai-nilai R_A , R_B dan C. Tegangan inilah yang kemudian dijadikan sebagai sinyal PWM.

Heater

Heater adalah peralatan yang berfungsi untuk menghasilkan panas dari sumber listrik. Di industri *heater* lebih banyak difungsikan sebagai proses produksi dari suatu produk yang dihasilkan oleh pabrik tersebut. Cara kerja *heater* adalah menggunakan prinsip termodinamika biasa, yaitu menggunakan panas kemudian dialirkan ke wilayah bertemperatur rendah agar menjadi lebih hangat. Perpindahan panas tersebut terjadi secara spontan, yang dibutuhkan hanyalah panas untuk dipindahkan ke temperatur yang lebih tinggi. Pada alat ini, *heater* berfungsi untuk mewakili *heater* pada mesin *packaging*. *Heater* yang digunakan adalah jenis keramik, *heater* keramik ini dapat menyimpan panas untuk waktu yang lebih lama daripada *heater* yang lainnya. Suhu yang dihasilkan oleh *heater* ini dapat mencapai 700°C.

Transceiver Zigbee

Transceiver (transmitter-receiver) adalah perangkat elektronik digunakan untuk mengirim dan menerima data dari satu lokasi ke lokasi yang lainnya dengan teknologi pemancaran pita basis (*baseband*), sehingga pada bagian pengirim dapat memancarkan dan menerima sinyal di dalam jaringan tersebut. *Zigbee* merupakan salah satu teknologi *transceiver*. *Zigbee* adalah teknologi nirkabel baru yang menggunakan standar *Personal Area Network* IEEE 802.15.4. *Zigbee* beroperasi pada 914MHz *band* dengan *data rate* 40Kbps di Amerika Serikat, 868 MHz *band* dengan *data rate* 20Kbps di Eropa, dan 2.4 GHz ISM *band* di seluruh dunia dengan *data rate* 250Kbps. *Zigbee* mulai dikembangkan pada tahun 2001.

Beberapa fitur utamanya, yaitu:

- Teknologi nirkabel berbasis standar.
- Interoperabilitas dan penggunaan di seluruh dunia.
- *Data rate* yang rendah.
- Konsumsi energi yang sangat rendah. Pada sebagian besar waktu, *slave node* akan tidur dan hanya aktif untuk waktu-waktu tertentu untuk memberitahukan keberadaannya atau mengirim informasi ke *master node*.
- Mendukung jaringan yang berukuran kecil hingga sangat besar.
- Disain yang sederhana.
- Keamanan.
- Reliabilitas.

Spesifikasi *Physical* dan MAC pada *Zigbee* terhadap masing-masing frekuensi dapat dilihat pada Tabel 2.

■ Tabel 2. Spesifikasi *physical* dan MAC pada *Zigbee*

Frekuensi	2,4 GHz	915 MHz	868 MHz
<i>Data Rate</i>	250 Kbps	40 Kbps	20 Kbps
<i>Channel count</i>	16	10	1
Modulasi	O-QPSK	BPSK	BPSK

Pada perancangan frekuensi yang digunakan adalah 2,4 GHz, sesuai dengan standar *Industrial, Scientific and Medical (ISM)*. Standar ini merupakan standar yang pada umumnya digunakan. *Data rate* digunakan sampai pada 250 Kbps, dan modulasinya adalah O-QPSK. Offset QPSK (O-QPSK) adalah teknik modulasi turunan dari QPSK. Pada QPSK memungkinkan terjadinya loncatan fasa sinyal carrier sebesar 180°. Untuk menghindari loncatan fasa ini, maka pada pembangkit di kanal quadrature bit yang masuk di delay (di offset) sebesar 0,5 Tb terhadap kanal *inphase*. Sehingga variasi amplitud pada sinyal offset QPSK lebih kecil dibanding pada QPSK.

Sesuai dengan *Open Systems Interconnection* (OSI), Zigbee disusun atas lapisan-lapisan. Dua lapisan pertama, yaitu *physical* (PHY) dan *Media Acces Control* (MAC) didefinisikan berdasarkan standar IEEE 802.15.4 dan tiga lapisan di atasnya, yaitu *Network*, *Transport*, dan *Aplikasi* didefinisikan oleh *Zigbee Alliance*.

XBee adalah modul untuk *wireless* yang dikeluarkan oleh *Digi International*. XBee didesain untuk memenuhi standar *zigbee* yang biasa digunakan untuk aplikasi jaringan sensor yang berbiaya dan berdaya rendah. XBee dapat menghantar data sehingga 30 m (*indoor*) dan 100 m (*outdoor*). XBee membutuhkan daya minimal dan menyediakan transfer data yang handal antara dua *device*. XBee yang digunakan dalam perancangan ini adalah XBee 4214A.

Program Aplikasi pada PC

Program aplikasi bertujuan sebagai *user interface* pada perancangan ini, dimana *user* dapat memilih bentuk sinyal dengan meng-*input* data frekuensi sinyal, pemilihan jenis sinyal, dan amplitudo sinyal. Pada *user interface* digunakan pemrograman yang bersifat *visual* agar lebih menarik dan dapat memberi kemudahan. Salah satu bahasa pemrograman yang bersifat *visual* adalah VB (*Visual Basic*).

Visual Basic pada dasarnya adalah sebuah bahasa pemrograman komputer. Bahasa pemrograman adalah perintah-perintah atau instruksi-instruksi yang dimengerti oleh komputer untuk melakukan tugas-tugas tertentu. *Visual Basic* selain disebut sebagai sebuah bahasa pemrograman, juga sering disebut sebagai sarana (*tool*) untuk menghasilkan program-program aplikasi berbasis *windows*. Beberapa kemampuan atau manfaat dari *Visual Basic* diantaranya seperti:

- Untuk membuat program aplikasi berbasis *Windows*.
- Untuk membuat objek-objek pembantu program seperti misalnya kontrol *ActiveX*, *file Help*, aplikasi Internet, dan sebagainya.
- Menguji program (*debugging*) dan menghasilkan program akhir berakhiran EXE yang bersifat *executable*, atau dapat langsung dijalankan.

Bahasa *Visual Basic* cukup sederhana dan menggunakan kata-kata bahasa Inggris yang umum digunakan. Di dalam *Visual Basic* semuanya sudah disediakan dalam pilihan-pilihan yang tinggal diambil sesuai kebutuhan. Selain itu sarana pengembangannya yang bersifat *visual* memudahkan *user* untuk mengembangkan program aplikasi berbasis *Windows*, bersifat *mouse-driven* (digerakkan dengan *mouse*), dan berdaya guna tinggi. Lingkungan *Visual Basic* terdiri dari:

- **CONTROL MENU**
Control Menu adalah *menu* yang digunakan terutama untuk memanipulasi jendela *Visual Basic*. Dari *menu* ini bisa jendela *Visual Basic* atau jendela *Windows* lainnya dapat diubah ukurannya, dipindahkan atau ditutup.
- **MENU**
Menu Visual Basic berisi semua perintah *Visual Basic* yang dapat dipilih untuk melakukan tugas tertentu.
- **TOOLBAR**
Toolbar adalah tombol-tombol yang mewakili suatu perintah tertentu dari *Visual Basic*. Setiap tombol tersebut dapat langsung diklik untuk melakukan perintah tertentu.
- **FORM WINDOW**
Form Window atau jendela *Form* adalah daerah kerja utama, dimana program-program aplikasi *Visual Basic* dibuat. Pada *Form* ini, akan diletakkan berbagai macam objek interaktif seperti teks, gambar, tombol-tombol perintah, *scrollbar*, dan sebagainya. Apabila program aplikasi dijalankan, semua yang terdapat di dalam *Form* akan ditampilkan pada layar *Window*. Jendela *Form* inilah yang nantinya akan menjadi latar belakang dari aplikasi.
- **TOOLBOX**
Toolbox adalah sebuah “kotak peranti” yang mengandung semua objek atau kontrol yang dibutuhkan untuk membentuk suatu program aplikasi. Kontrol adalah suatu objek yang akan menjadi *interface* (penghubung) antara program aplikasi dan *user*-nya, dan kesemuanya harus diletakkan di dalam jendela *Form*.
- **PROJECT EXPLORER**
Jendela *Project Explorer* adalah jendela yang mengandung semua *file* di dalam aplikasi *Visual Basic*. Setiap aplikasi dalam *Visual Basic* disebut dengan istilah *project* (proyek), dan setiap proyek bisa mengandung lebih dari satu *file*. Pada *Project Explorer* ditampilkan semua *file* yang terdapat pada aplikasi (proyek), misalnya *Form*, *modul*, *class* dan sebagainya.
- **JENDELA PROPERTIES**
Jendela *Properties* adalah jendela yang mengandung semua informasi mengenai objek yang terdapat pada aplikasi *Visual Basic*. Properti adalah sifat dari sebuah objek, misalnya seperti namanya, warna, ukuran, posisi dan sebagainya.

- **FORM LAYOUT WINDOW**

Form Layout Window adalah jendela yang menggambarkan posisi dari *Form* yang ditampilkan pada layar monitor. Posisi *Form* pada *Form Layout Window* inilah yang merupakan petunjuk dimana aplikasi akan ditampilkan pada layar monitor saat dijalankan.

- **JENDELA CODE**

Jendela Code adalah salah satu jendela yang penting di dalam *Visual Basic*. Jendela ini berisi kode-kode program yang merupakan instruksi-instruksi untuk aplikasi *Visual Basic*. Setiap objek pada *Visual Basic* dapat ditambah dengan kode-kode program untuk melakukan tugas-tugas tertentu, misalnya menutup aplikasi, membatalkan perintah dan sebagainya.

Software yang digunakan pada perancangan ini adalah *Visual Basic 6.0*. Penulis menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic 6.0* karena perangkat lunak ini mudah untuk diaplikasikan dan dipelajari. Bahasa pemrograman ini sangat mudah diaplikasikan baik untuk pengendalian *hardware* maupun untuk pembuatan program *Graphical User Interface* (GUI) yang memudahkan *user* untuk menggunakannya. Perancangan alat ini menggunakan program *Visual Basic 6.0* untuk memantau dan memberikan perintah secara langsung kepada mikrokontroler yang selanjutnya mikrokontroler ini mengendalikan modul-modul yang berhubungan dengan bagian produksi, seperti *heater* dan motor DC.

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Modul Relay Status Mesin

Pengujian modul *relay* status mesin bertujuan untuk mengetahui apakah modul ini dapat berjalan dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *digital multimeter* dengan memberikan tegangan pemicu berupa logika *high* dan logika *low* pada *relay*. Tabel 3 merupakan hasil pengujian modul *relay* status mesin.

■ **Tabel 3.** Hasil Pengujian Modul Relay

<i>Input</i>	Multimeter Ω
<i>High</i>	∞
<i>Low</i>	0

Berdasarkan dari hasil pengujian pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa ketika *relay* diberi *input High*, maka hambatan yang terbaca pada multimer adalah tidak hingga. Apabila *relay* diberi *input Low*, maka hambatan yang terbaca pada multimer adalah sebesar 0Ω . Berdasarkan hasil pengujian di atas, maka dapat disimpulkan, modul *relay* status mesin dapat menyalurkan data ke mikrokontroler dari mesin.

Sensor Suhu

Pengujian modul sensor suhu dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran suhu air yang dipanaskan dengan menggunakan *thermocouple* tipe K yang dipakai pada perancangan ini dengan multimeter digital. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah *thermocouple* tipe K yang digunakan dalam perancangan ini dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Hasil pengukuran dengan kedua media tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Sensor Jumlah Produksi

Pengujian sensor jumlah produksi ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor infra merah yang digunakan dalam perancangan modul alat ini dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian modul sensor jumlah produksi ini dilakukan dengan menguji kinerja dari modul sensor infra merah ketika menerima pancaran sinar infra merah, *detector* infra merah memberikan logika *low* yang kemudian diumpankan ke mikrokontroler. Logika *high* dan *low* dapat diketahui dengan mengukur tegangan *output* dari bagian penerima infra merah dengan menggunakan multimeter.. Hasil pengujian *output* sensor infra merah dapat dilihat pada Tabel 5.

■ **Tabel 4.** Hasil Pengujian Modul Sensor Suhu

Percobaan Ke:	Multimeter Digital	Themocouple
1	34,7 ⁰	31,5
2	46,5 ⁰	44,1
3	58,9 ⁰	56,4
4	72,3 ⁰	70,1
5	83,4 ⁰	81,9

■ Tabel 5. Hasil Pengujian *Output* Sensor Infra Merah

No	Status	Output (V)	Logika
1	mendeteksi sinar infra merah	0,54	low
	tidak mendeteksi sinar infra merah	4,76	high
2	mendeteksi sinar infra merah	0,53	low
	tidak mendeteksi sinar infra merah	4,80	high
3	mendeteksi sinar infra merah	0,51	low
	tidak mendeteksi sinar infra merah	4,77	high

Hasil pengujian yang didapat menunjukkan bahwa pada saat *detector* infra merah menerima pancaran sinar infra merah maka *output* yang keluar memiliki logika *low*, sedangkan saat *detector* infra merah tidak menerima pancaran sinar infra merah maka *output* yang dihasilkan memiliki logika *high*

Modul Pengendali Panas

Pengujian modul pengendali panas dilakukan menggunakan catu daya dengan nilai tegangan 12V. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan logika *high* dan *low* pada *input*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa saat *relay* diberi nilai *high* maka *heater* akan aktif. Sedangkan jika *relay* diberi nilai *low* maka *heater* tidak aktif.

Modul Driver Motor

Pengujian modul *driver motor* terlebih dahulu dirangkai menjadi satu rangkaian yang telah digabungkan dengan motor DC *gearbox*. Pengujian dilakukan dengan cara menguji perputaran yang dihasilkan oleh motor DC ketika *driver motor* diberi *input* tertentu. *Output* yang diinginkan dari pengujian ini adalah motor DC akan berputar dengan kecepatan normal apabila pada pin *down* diberikan input, dan akan berputar lebih cepat apabila pada pin *up* diberikan input. Input yang diberikan berupa logika *high*. Arah putaran dari motor DC ini adalah searah jarum jam. Hasil pengujian dijelaskan dala Tabel 6.

■ Tabel 6. Hasil Pengujian Modul Driver Motor

Motor DC	Input	Kecepatan
1	DOWN	Lambat
	UP	Cepat
2	DOWN	Lambat
	UP	Cepat
3	DOWN	Lambat
	UP	Cepat

Pengujian dan Analisis Sistem

Tujuan dilakukan pengujian keseluruhan sistem adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dirancang dapat melakukan pemantauan sekaligus pengaturan secara otomatis dengan baik atau tidak ketika sistem sedang dijalankan. Pengujian dilakukan dengan cara menggabungkan seluruh modul baik yang dirancang maupun yang tidak dirancang.

Berikut ini langkah-langkah pengujian yang dilakukan, pengujian diawali dengan mencatu untuk rancangan. Ketika rancangan ini dicatu, motor secara otomatis hidup, dan *heater* juga mulai panas secara otomatis. Kemudian pada PC telah ditampilkan tampilan awal dari modul pemantauan seperti pada Gambar 7. Pada tampilan awal ini, jika di-klik panel “MULAI” maka akan muncul tampilan akhir seperti pada Gambar 7. Ketika sistem telah dihidupkan, dan pada layar monitor telah ditampilkan tampilan akhir dari modul pemantauan, maka sistem akan secara otomatis mulai menghitung dan membaca keadaan mesin dan suhu pada *heater*. Pada dua pengujian yang didasarkan pada dua kasus.

Kasus Pertama

Pada kasus pertama ini, ketiga mesin yang dalam perancangan ini diperagakan dengan menggunakan motor DC berada dalam keadaan ON. Ketiga motor DC ini akan berputar dalam kecepatan yang hampir sama dan suhu pada *heater* juga berada pada angka yang hampir sama. Adapun pengujian dari kasus pertama ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada kasus pertama ini target produksi yang ingin dicapai adalah 500. Pada mesin pertama, dengan suhu *heater* 149°C dihasilkan produk sebanyak 152 buah. Pada mesin kedua, dengan suhu *heater* 153°C dihasilkan produk sebanyak 148 buah. Pada mesin ketiga, dengan suhu *heater* 145°C, dihasilkan produk sebanyak 145

buah. Jumlah produk yang telah dihasilkan dari ketiga mesin ini pada saat diambil data ini sebanyak 445 buah. Sedangkan sisa target produksi yang harus dicapai adalah sebanyak 55 buah.

MONITORING DAN KONTROL PRODUKSI			
TARGET = 500		PRODUKSI = 445	SISA = 55
MESIN 1 STATUS = ON PRODUKSI = 152 SUHU = 149		MESIN 2 STATUS = ON PRODUKSI = 148 SUHU = 153	MESIN 3 STATUS = ON PRODUKSI = 145 SUHU = 154
KELUAR			

■ Gambar 7. Pengujian Kasus Pertama.

Kasus Kedua

Pada kasus kedua ini, salah satu motor DC dimatikan, untuk memperagakan mesin yang dalam keadaan OFF. Ketika salah satu motor dimatikan, maka kedua motor lainnya akan berputar dengan kecepatan yang lebih tinggi untuk menyesuaikan produksi, supaya target produksi tercapai. Suhu *heater* pada motor yang dimatikan akan turun dengan sendirinya, sedangkan suhu *heater* pada kedua motor lainnya akan bertambah tinggi untuk menyesuaikan diri dalam mengejar target produksi. Pengujian pada kasus kedua ini dapat dilihat pada Gambar 8.

MONITORING DAN KONTROL PRODUKSI			
TARGET = 500		PRODUKSI = 455	SISA = 45
MESIN 1 STATUS = OFF PRODUKSI = 143 SUHU = 149		MESIN 2 STATUS = ON PRODUKSI = 153 SUHU = 182	MESIN 3 STATUS = ON PRODUKSI = 159 SUHU = 185
KELUAR			

■ Gambar 8. Pengujian Kasus Kedua.

Pada kasus kedua ini target produksi yang ingin dicapai adalah 500 buah. Pada mesin pertama, ketika *heater* telah mencapai suhu 149°C dan telah menghasilkan produk sebanyak 143 buah, terjadi *downtime* pada mesin. Hal ini menyebabkan status mesin pada tampilan akhir modul pemantauan menjadi OFF.

Sedangkan pada mesin kedua, dengan suhu *heater* naik melebihi nilai suhu referensi yaitu 150°C menjadi 182°C dan putaran motor DC menjadi lebih cepat, sehingga menghasilkan produk sebanyak 153 buah. Begitu juga pada mesin ketiga, dengan suhu *heater* naik menjadi 185°C melebihi nilai suhu referensi, dihasilkan produk sebanyak 159 buah. Jumlah produk yang telah dihasilkan dari ketiga mesin ini pada saat diambil data ini sebanyak 455 buah. Sedangkan sisa target produksi yang harus dicapai adalah sebanyak 45 buah.

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian keseluruhan sistem ini, diketahui bahwa sistem yang dirancang berjalan dengan baik. Hal tersebut berdasarkan suhu dari dua buah *heater* yang naik dan kecepatan putaran dari dua buah motor DC yang bertambah yang dikarenakan salah satu *heater* dan motor DC dari ketiga *heater* dan motor DC tersebut berhenti beroperasi.

KESIMPULAN

Sistem yang dirancang berhasil menampilkan keadaan mesin pada saat beroperasi. Keadaan mesin yang ditampilkan adalah keadaan mesin pada saat aktif (ON), maupun keadaan mesin pada saat tidak aktif (OFF). Sistem ini berhasil menjaga kestabilan suhu *heater* sesuai dengan nilai referensi suhu, dan berhasil mengontrol panas *heater* untuk menyesuaikan diri dengan target produksi apabila salah satu mesin dari ketiga mesin tersebut terjadi *downtime* (OFF). Dengan adanya pengaturan otomatis pada sistem ini, apabila

terjadi *downtime* pada salah satu mesin, maka sistem mampu menyesuaikan diri dengan cara mempercepat putaran motor dan meningkatkan suhu *heater*, sehingga diperlukan waktu yang lebih singkat untuk menghasilkan sebuah produk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Gislason, *ZigBee Wireless Networking*, Oxford: Elsevier Inc., 2008. pp. 4.
- [2] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed, New Jersey: Prentice-Hall International, 1992, pp. 773.
- [3] M. Suyanto, *Pengantar Teknologi Informasi*, Yogyakarta: Andi, 2005, pp. 101.
- [4] H. D. Young dan R. Freedman, *University Physic*, 10th ed, Boston: Addison Wesley Logman, Inc., 2004. pp. 243.
- [5] W. Budiharto dan S. Rahardi, *Teknik Reparasai PC & Monitor*, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 2005. pp. 43.
- [6] M. J. Moran dan H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 4th ed, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. pp. 86.
- [7] H. D. Young dan R. Freedman, *University Physic*, 10th ed, Boston: Addison Wesley Logman, Inc., 2004. pp. 325.